

基于 3D 模型的障碍物探测和定位方法： 光雷达技术进行评估

屈小川 编译

摘要 本文提出了一个户外障碍物探测和定位的方法。基于 3D-GIS 和摄影测量技术研发了一个地理 3D 模型。其中,研发的图像处理算法确保真实影像和虚拟影像的时空同步,通过车载摄影机可以获得外部真实影像资料,而虚拟影像资料可通过 3D-GIS 技术获得。GPS 远程动态技术可以提供厘米级的车辆定位精度,比对真实影像(含有障碍物)和虚拟影像(不含障碍物)可以获知障碍物的信息,此外,本方法还可以根据摄影机和障碍物之间的距离计算障碍物位置。然后,我们利用 2D 光雷达技术(激光扫描仪)对上述结果进行评估,需要注意的是,摄影机和光雷达需要在同一参考框架下才能进行结果比较。文章最后给出了实测数据的试验结果。

关键词 光雷达;障碍物;3D 定位;GPS;GIS

对于无人驾驶汽车来说,障碍物探测技术是个不可或缺的部分,并进而形成了多种传感器和各种障碍探测方法,主要包括雷达传感器、激光传感器、单视觉传感器和立体视觉传感器或组合传感器。

本文给出了基于地理 3D 模型和摄影技术的障碍物探测和定位方法。首先,利用厘米级的 GPS 远程动态技术获得车辆在 3D 模型中的位置,而利用 3D-GIS 技术获得虚拟影像,并与车载摄影机获得的真实影像比对,从而探测出车辆视野内的静态和动态障碍物,最后利用 3D-GIS 提供的深度图像和虚拟影像来实现障碍物的位置定位。最后用光雷达测量技术对试验结果进行评估。

本文分为以下几部分:第一部分给出了本文采用的数据来源,包括:地理 3D 模型和车载传感器(摄影机、GPS 接收机和激光扫描仪);第二部分阐述了本文所用到的方法,即利用 3D 模型、摄影机和 GPS 设备来探测和定位障碍物;第三部分给出了试验结果,并与光雷达测量结果进行比较;第四部分是总结部分。

1 数据来源

本方法是通过精确的 3D 模型和多种内置传感器(摄影机、GPS 接收机和激光扫描仪)实现的,此部分主要讨论如何组合应用这些数据。

1.1 地理 3D 模型和 3D-GIS

3D-GIS 是一个能够整合、存储、编辑、分析、共享和显示地理参考信息的计算机系统,可以用来处理地理 3D 模型中(也称 3D 地理数据库、3D 城市模型或 3D 虚拟模型)中的实时数据。通常来说,GIS 技术可以支持交互式查询(用户搜索界面)和分析空间信息,并能够对数据进行编辑。

3D 模型对于车辆定位和导航这些应用方面来说意义重大。例如,利用 3D 数据库和摄影技术可以对行人或车辆进行定位定向。自从 2002 年以来,所有日本的主要城市都已经纳入 3D 数据库的范围内,并每隔 6 个月对数据库升级。法国的 Bati3D 工程的目标是制作法国主要城市的三维地图。利用激光剖面测量数据、2 维数字地图和航空地图自动生成 3D

地理模型。

所采用的地理3D模型(图1)是由 Tecnomade 公司开发研制,可以达到米级的精度。Tecnomade 公司的3D引擎可以制定地理3D模型的数据格式,用于研制用于机器人和智能汽车的3D-GIS。基于3D-GIS技术开发和整合了具有障碍物探测和定位功能的模块,图2对两个功能进行了说明。功能1:在3D-

GIS中,设定3D模型当地坐标框架下虚拟摄影机的6个自由度,从而获得位图格式的虚拟影像(图2.a);功能2:以二进制的形式,在文本中存储每个虚拟影像像素的深度值(图2.b),虚拟摄影机和每个像素点的距离值(单位:米)用32位的长整型来表示,像素的深度信息从显示卡的Z缓冲中提取。更多的功能描述见参考文献。



图1 南锡 Stanislas 广场的3D影像

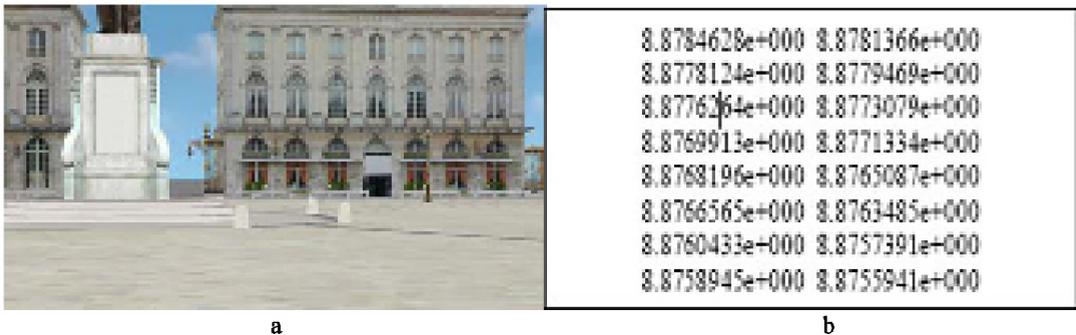


图2 3D-GIS 两种功能的输出形式

1.2 车载传感器

1.2.1 摄影机

将 AVT 公司生产的 MARLIN F-046C 系列摄影机 根据 IEEE 1394 的标准与公车相连,在频率为 30HZ 的情况下,它可以提供大小的图片。与所有的视觉系统一样,摄影机也是通过提取精确的场景几何信息进行校准,从而获得内部参数(焦点、主点和尺度因子)和变焦参数。

通过车载摄影机来获取车辆视野内的真实场景信息,也就是,可能含有障碍物的场景。

通过比对真实场景(含有障碍物)和虚拟场景(从3D模型中提取,不含有障碍物)可以探测出障碍物信息。

1.2.2 GPS

利用 Thales 导航公司提供的 Sagitta02 接收机可以获得车辆的位置信息,其实时定位精度从米级到分米级,这取决于GPS的运行系统:WAAS/EGNOS、DGPS 或 LRK 模式,其占用频率设定为 10HZ。

GPS 可以为 3D-GIS 提供车辆的位置信

息。我们先将车辆的 WGS84 坐标转换成 3D 模型中的当地坐标,然后根据 3D 模型中虚拟摄影机的位置信息,再利用 3D-GIS 就可以提取该区域虚拟摄影机视野内的虚拟场景。



图 3 传感器的安装示意图

1.2.3 激光扫描仪

SICK 公司生产的 LMS 291 激光扫描仪可以用于以下标准服务:物体测量、位置定位、区域监测、车辆导航和防碰撞控制系统。在角分辨率为 1° 的情况下,激光扫描仪对周围 180° 的范围进行扫描,利用激光传播时间,即发射时刻和传播时刻的差值,就可以测定至目标物的精确距离。

对由视觉系统和 3D 模型获得障碍物探测和定位的结果,我们最后用激光扫描仪进行评估。

图 3 给出了三种车载传感器的安装位置。

2 障碍物探测和定位

图 4 给出了障碍物探测和定位的方法,其主要原理就是对真实影像(可能含有障碍物)和虚拟影像(不含障碍物)进行比对,进而提取障碍物信息。真实影像由车载摄影机获得,而虚拟影像由 3D-GIS 提取,但 3D-GIS 需要知道车辆姿态才能获得虚拟影像。虚拟摄影机(左右晃动 ROLL、前后倾斜 PITCH 和高度 ELEVATION 是定值)的平面坐标 X 和 Y,以及方位

角 YAW 三个自由度可以通过 WGS84 坐标系统和 3D 模型中当地坐标系统之间的转换获得。利用 GPS 远程动态技术,可以获得厘米级的车辆经度和纬度,以及车辆航向角 θ 。通过真实影像和虚拟影像的比对,进而提取影像中的障碍物信息。在图像处理算法中,利用 3D-GIS 中的图像深度信息就可以计算出障碍物和车辆之间的距离,从而给出障碍物在 WGS84 坐标框架下的坐标。

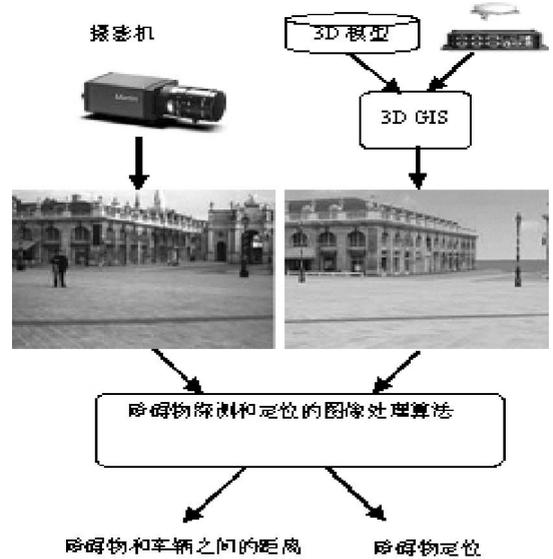


图 4 障碍物探测和定位方法

2.1 障碍物探测的图像处理过程

此部分主要关于如何利用两种影像资料即时探测障碍物(图 5)。



图 5 同一时刻下的真实影像(左)和虚拟影像(右)

真实影像 车载照相机提供;
虚拟影像 3D-GIS 提供;

为了获取障碍物的精确信息,虚拟影像和真实影像必须保持时空同步。利用 GPS 远程动态技术,可以计算出 3D 模型中虚拟摄影机的位置和方位以确保两种影像的空间一致性,接收机天线靠近车载摄影机,以确保精确获悉摄影机的位置。另外,为确保时间同步,车载摄影机与 GPS 观测需要保持时间一致性。

为了能够实时探测障碍物,我们研制了一个简单的图像处理算法。数据预处理后,图像处理算法通过分析比对虚拟影像和真实影像两种二进制影像之间的差异,进行障碍物探测。为避免探测到真实影像中不存在的物体,应考虑算法的阶数。此外,图像的上层部分并不包含障碍物信息,因此仅考虑了下层部分。最后,对图像进行后处理以消除噪声。图 6 给出了每个步骤的图像处理结果。



图 6 障碍物探测结果

因为我们假定所有的障碍物都位于地面,因此,障碍物底部的像素值就是地面和障碍物的相交处的像素值。

2.2 车辆和障碍物之间距离计算

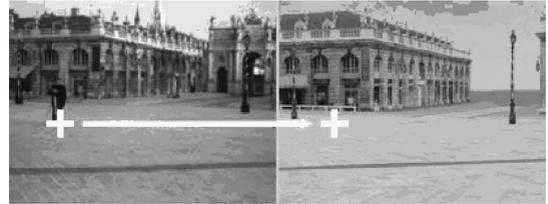


图 7 真实影像和虚拟影像比对



图 8 障碍物和车辆之间距离计算

在上一部分,我们提取了障碍物的像素值,因此,加上 Z 缓冲中的像素深度信息,就可以计算障碍物和车辆之间的距离。虚拟影像每个像素的深度信息由 3D-GIS 以二进制文件的形式提供给我们。由于真实影像和虚拟影像有相同的投影平面,真实影像中的障碍物经过投影在深度虚拟图像上,就可以提取像素的深度信息(图 7)。

障碍物像素的深度信息(符号表示)由 3D-GIS 提供的二进制深度信息文件中获得,它给出了障碍物和车载照相机之间的距离。地理 3D 模型的误差在 10cm 以内。

摄影机安置在车辆的前部(图 3 和图 8)。因此,车辆前部和障碍物的距离(符号 d 表示)由下式计算:

$$d = \sqrt{f^2 - 0.7^2}$$

2.3 障碍物定位

一旦障碍物和车辆之间的距离确定后,就可以进行障碍物定位了。由于我们并不需要知道障碍物的高度信息,因此,只需要投影到平面上来确定障碍物的 X、Y 坐标。根据障碍物和摄影机之间的几何关系可以得到以下关系式:

$$y = \cot(\beta) \cdot (x - X_c) + Y_c$$

式中 X_c 和 Y_c 是 Lambert93 系统下的摄影机的二维坐标 (由 GPS 远程动态技术提供) β 为 Lambert93 系统下障碍物的方位角, 即 障碍物和真北方向之间的夹角。

在 Lambert93 系统下得到了摄影机和障碍物之间的距离, 就可以进行障碍物定位了。

下面说明如何计算障碍物方位角参数 β : 定义符号为车辆方位角, 即车载摄影机和真北方向的夹角(Lambert93 系统下) 定义符号 α 为车载摄影机和障碍物之间夹角, 由此得到:

$$\beta = \text{Head} - \alpha$$

α 是投影平面中底边的垂线与摄影机和障碍物之间连线的夹角。根据图 9 的几何关系, 可以得到下列三角方程式:

$$\tan \alpha = \frac{A}{width / 2} \tan(O_h / 2)$$

式中 O_h 是 3D-GIS 中的水平视角, $width$ 是图像的水平像素值; A 是图像中心点和障碍物在投影平面 P (其深度为图像中心像素的深度) 上投影点 P_{ob} 之间的像素值。

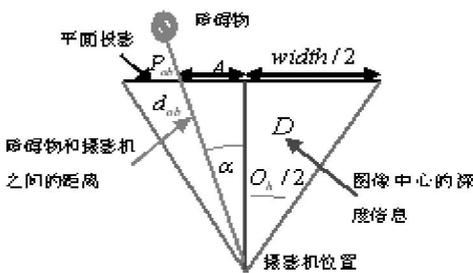


图 9 障碍物坐标计算

3 算例分析

为了验证算法的可行性, 我们研制了传感数据收集平台来负责采集实时传感数据, 并与 Robosoft 公司生产的试验车辆 CyCab 相结合进行车载传感数据的收集工作。

3.1 障碍物探测的试验结果

进行户外试验来进行算法的验证工作, 试

验设置如下: GPS 接收机和摄影机安置在试验车辆 CyCab 上, 并校正摄影机, 3D-GIS 根据校正结果来设置虚拟照相机的自由度, 选择法国南锡的 Stanislas 广场为试验地点, 试验路线随机选定。图 10 给出了试验结果。

并给出图例 A 到 I 说明。

A: 车载摄影机获得的真实影像和日期 (图像下端以纳秒表示, 从 1970 年 1 月 1 日算起);
 B: 3D-GIS 提取的虚拟影像和日期;
 C: 两种影像的时间差值 (以毫秒表示);
 D: 3D 模型中的 GPS 姿态 (当地坐标框架下);

E: Lambert93 框架下的 GPS 姿态;
 F: 图像处理结果, 包含障碍物像素的图像;
 G: 车辆和障碍物之间的距离;
 H: 当地坐标框架下的障碍物位置。

i. 图中的蓝实线是测试路径 (由 GPS 远程动态技术绘制, 并转换到当地坐标框架下)。此框架的原点 (Stanislas 广场雕像) 用蓝线圈住的星星表示;

ii. 测试线上的红圈表示车辆现在的位置;

iii. 如果探测到障碍物, 图例 I 背景色就会变成黄色 (警示信息);

iv. 绿星表示障碍物;

v. 绿线表示车辆和障碍物之间的连线 (距离估计);

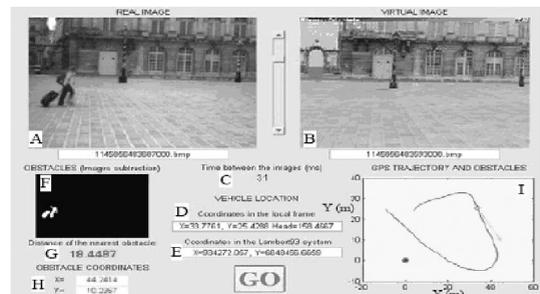


图 10 结果显示

图 11 给出另外两个障碍物探测实例。简单的说, 每个实例给出了 4 个图例: 包括真实

影像(左上角)、虚拟影像(右上角)、经算法处理后的影像给出了障碍物的位置(左下角) ,并绘制了试验结果图 (右下角) :给出了测试路线 (GPS 远程动态技术提供 cm 级的定位)、车辆

现在的位置(红圈)、障碍物(绿星)和遇到障碍物时的警示(背景色变成黄色)。在测试期间 ,所探测到的最小障碍物是鸽子 ,最大是行人。

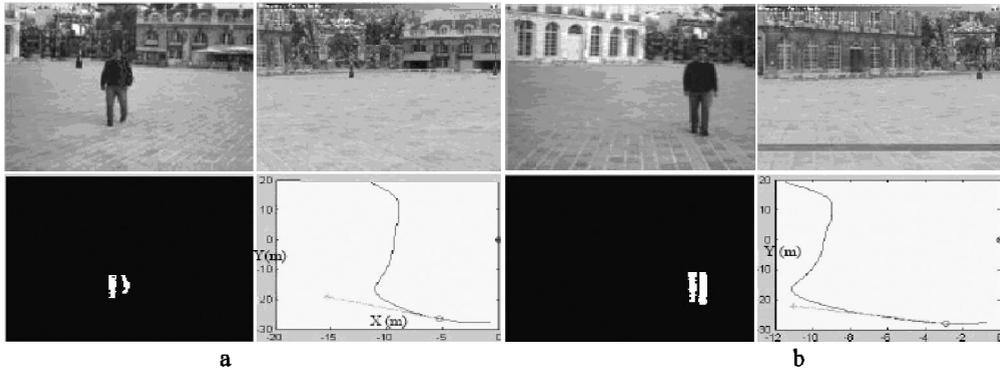


图 11 障碍物探测实例

3.2 光雷达结果评估

用视觉/3D 模型计算出了车辆和障碍物之间的距离 ,然后我们采用光雷达测量技术来评估距离精度。为了保证光雷达和摄影机在同一个参考框架下 ,需要对测距器参考框架和摄影机参考框架进行几何转换。

通常情况下 ,对于移动传感器来说 ,我们需要对内在和外在模型进行区分。内在模型是在传感器框架下给定观测对象和观测量之间的关系 ,而外在模型给出了由传感器确定的相对框架到固定框架下的转换关系。摄影机和激光扫描仪都具备这种区分特征。由于两种传感器都固定在同一个支架上 ,测距器和摄影机之间的相对位置和相对方位可以人为地精确计算 ,并且 GPS 接收机天线安置在支架的上端 ,因此可以对支架进行定位。

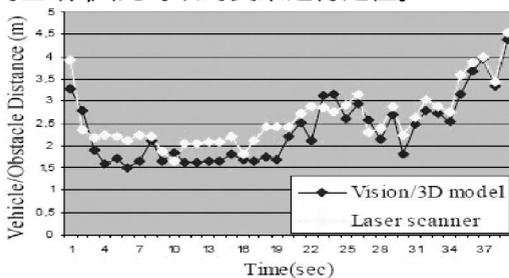


图 12 a

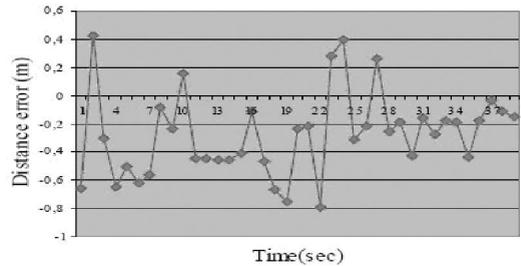


图 12 b

图 12 两种方法的距离比较

图 12 给出了在 40 秒内两种方法算得的行人和车辆之间的距离比较结果。图 12.a 中 ,蓝线表示视觉或 3D 模型算得的行人和车辆之间的距离值 ,而黄线表示光雷达测量技术求得的距离值。图 12.b 绘出了两种距离差值的曲线图 ,图中可以看出最大误差为 0.8 米。

4 结论

利用 GPS 接收机、单视觉照相机和地理 3D 模型 ,我们研制了一个障碍物探测和定位方法 ,并用光雷达测量技术对距离值进行了评估。提高观测稳定性和精度会进一步改进试验结果 ,例如 :GPS 观测与其它传感器 (里程表、指南针等等)相结合。此外 ,在地面不平整的情况下 ,需要改进障碍物定位方法。